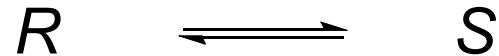


3. Ursprung der Chiralität

Konsequenzen der „exakten mechanischen Symmetrie“

Jacobus Henricus van't Hoff (1887, Nobelpreis 1901)



$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S = 0$$



$$K = e^{-\Delta G/kT} = 1$$

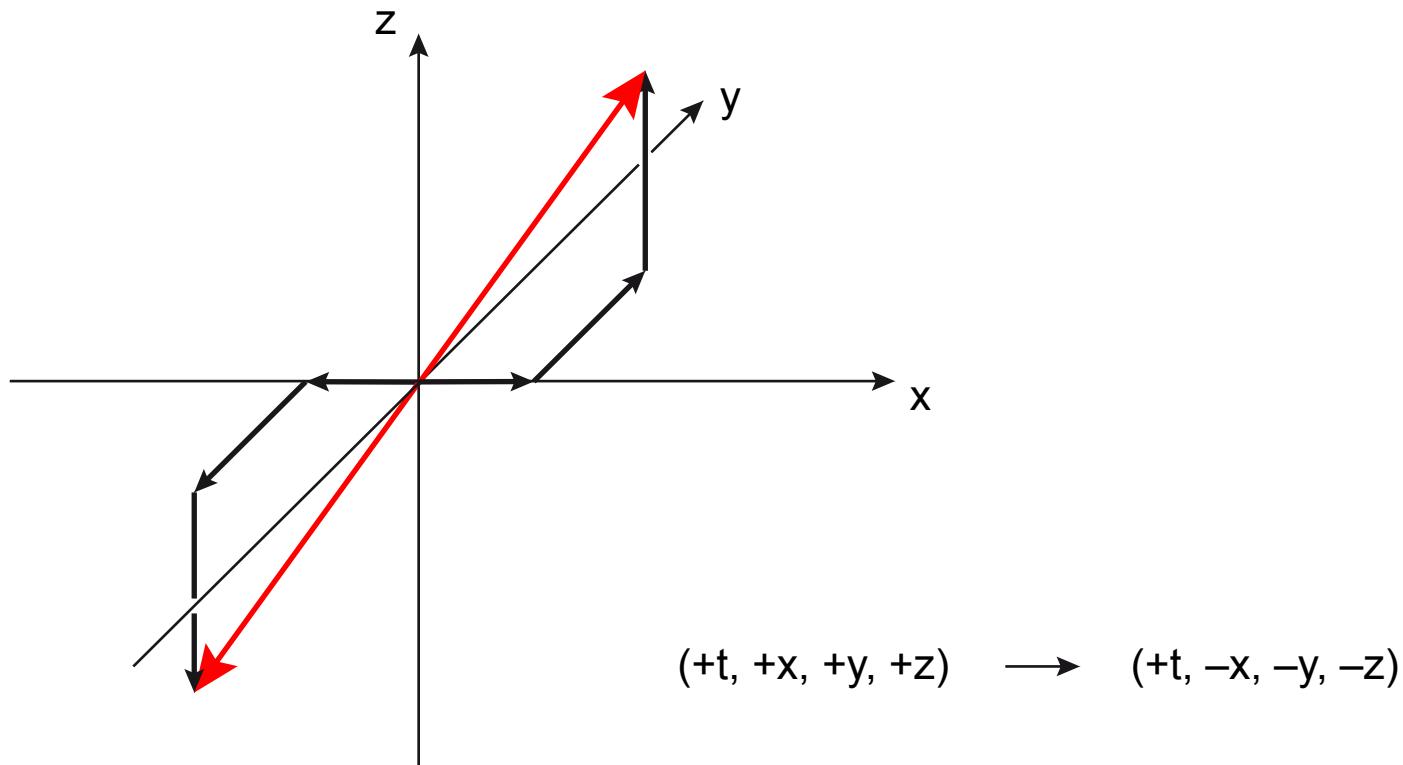
3. Ursprung der Chiralität

Problem: Woher stammt die „erste“ enantiomerenreine (bzw. enantiomerenangereicherte) chirale Verbindung?

1. physikalische Grundlagen für Asymmetrie des Universums
2. zufällige / spontane Prozesse

3. Ursprung der Chiralität

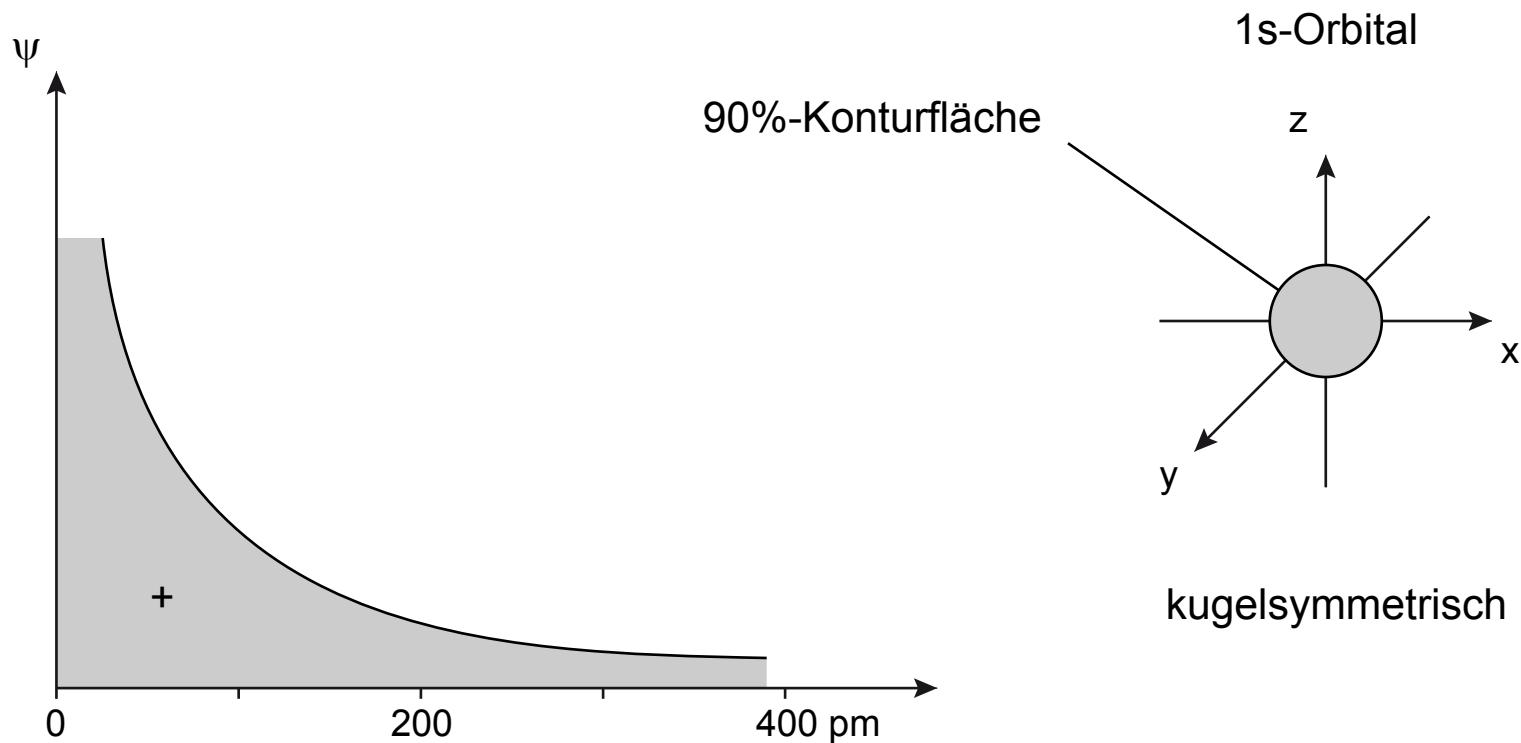
Parität: Raumspiegelung (Inversion)



3. Ursprung der Chiralität

gerade Parität: physikalische Größe behält Wert bei Inversion

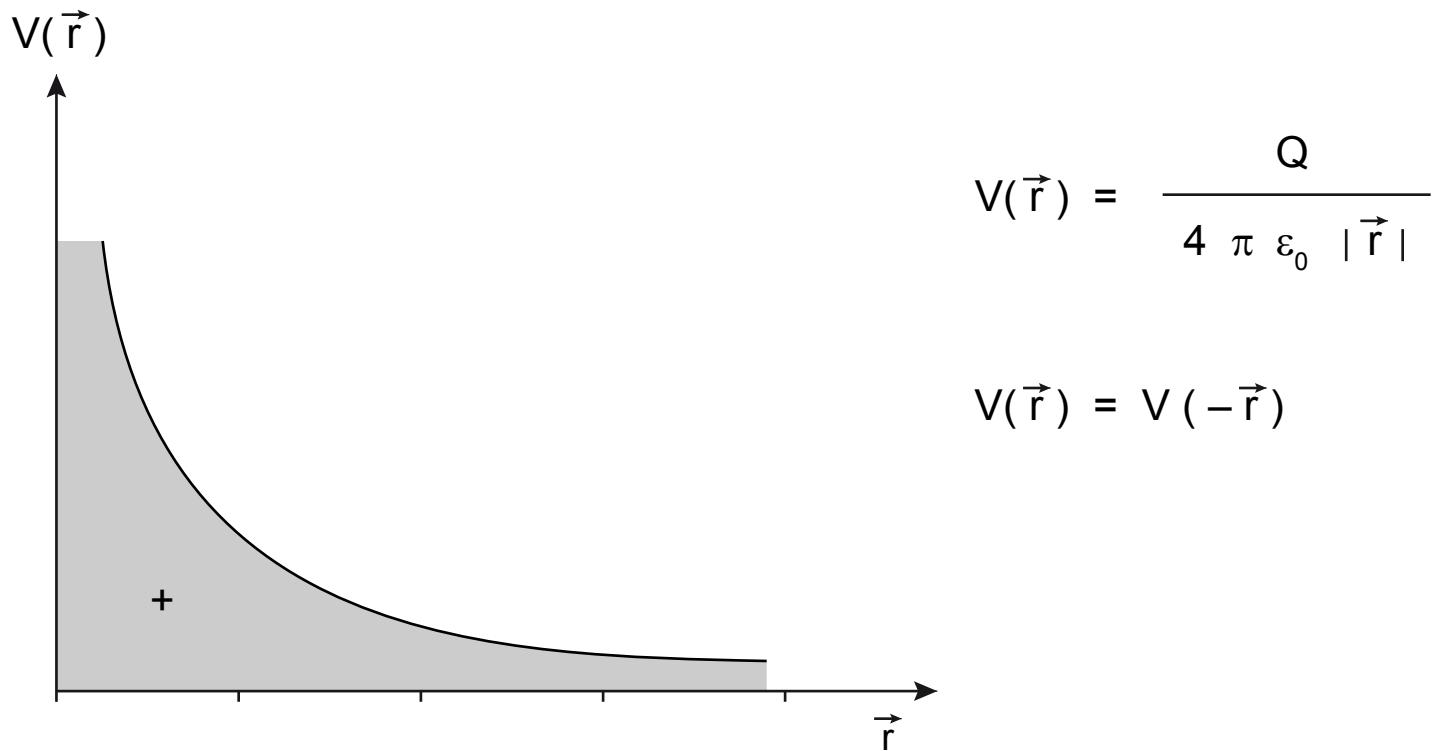
radialer Anteil der Wellenfunktion ψ



3. Ursprung der Chiralität

gerade Parität: physikalische Größe behält Wert bei Inversion

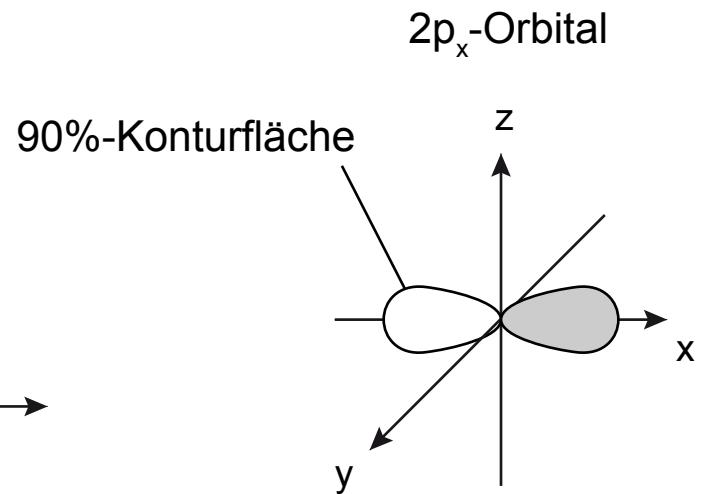
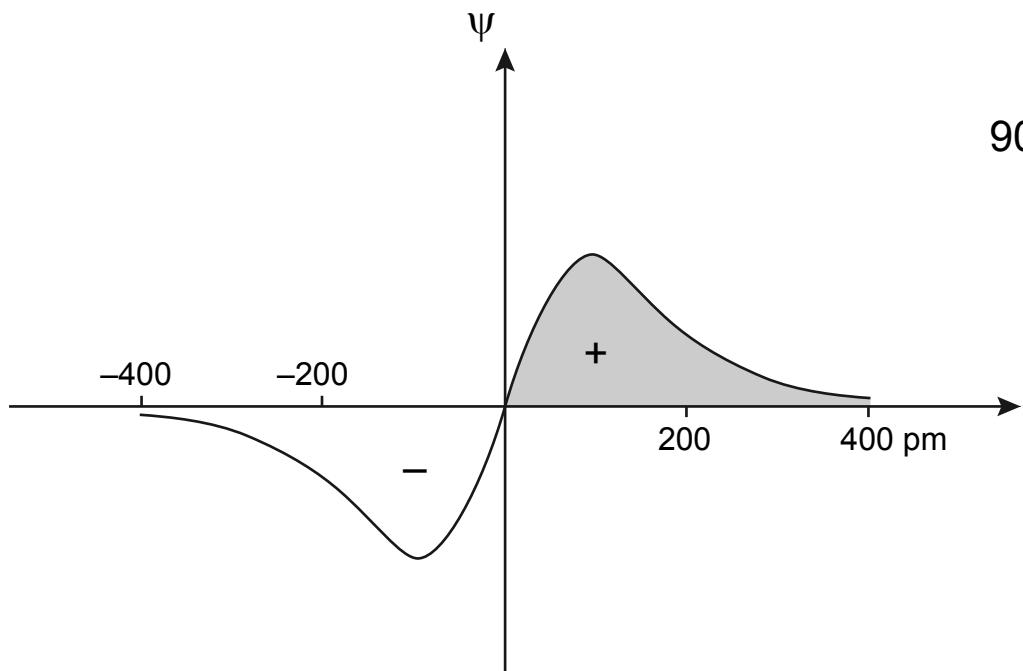
Potential einer im Ursprung befindlichen Punktladung Q



3. Ursprung der Chiralität

ungerade Parität: physikalische Größe ändert bei Inversion das Vorzeichen

radialer Anteil der Wellenfunktion ψ

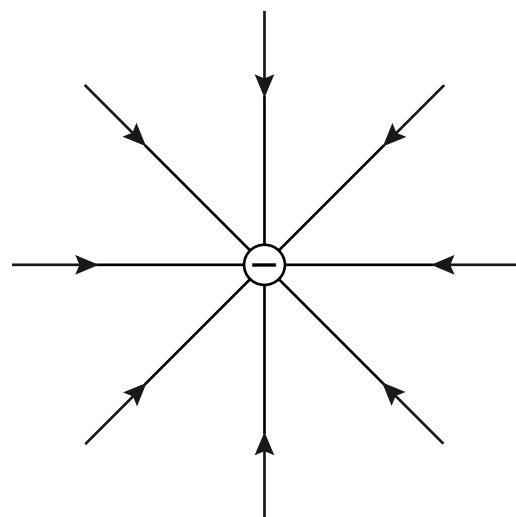


rotationssymmetrisch

3. Ursprung der Chiralität

ungerade Parität: physikalische Größe ändert bei Inversion das Vorzeichen

elektrisches Feld einer im Ursprung befindlichen Punktladung Q



$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|^3}$$

$$-\vec{E}(\vec{r}) = \vec{E}(-\vec{r})$$

3. Ursprung der Chiralität

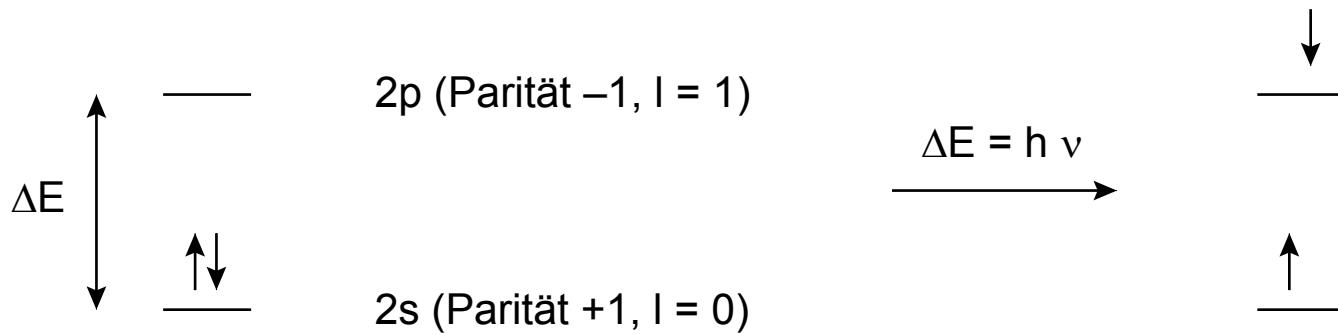
4 fundamentale Kräfte in der Natur

Wechselwirkung	Vektorboson (Wechselwirkungsteilchen)
starke Wechselwirkung	Gluon
schwache Wechselwirkung	W^+ , W^- , Z^0 (massiv, Higgs-Mechanismus)
elektromagnetische Wechselwirkung	Photon
Gravitation	Graviton (postuliert)

3. Ursprung der Chiralität

P-Invarianz (parity symmetry)

- Physikalische Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten ändern sich nicht, wenn in einem System alle Raumkoordinaten gespiegelt werden
- Paritätsquantenzahl $P = +1$ (symmetrisch) und $P = -1$ (antisymmetrisch)
- Photon: $P = -1$, Spin $s = +1$



3. Ursprung der Chiralität

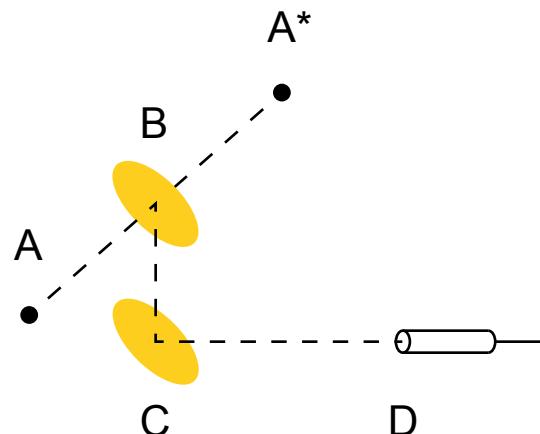
P-Verletzung (parity violation)

APPARENT EVIDENCE OF POLARIZATION IN A BEAM OF β-RAYS

By R. T. Cox, C. G. McILWRAITH AND B. KURRELMAYER*

NEW YORK UNIVERSITY AND COLUMBIA UNIVERSITY†

Communicated June 6, 1928



- Radiumproben in A und A*
- ${}_0^1n \longrightarrow {}_1^1p + e^- + \bar{\nu}_e$
- Streuung an Goldfolie in B und C
- ABCD und A*BCD gehen durch Rauminvolution ineinander über
- unterschiedliche Meßwerte in D

3. Ursprung der Chiralität

P-Verletzung

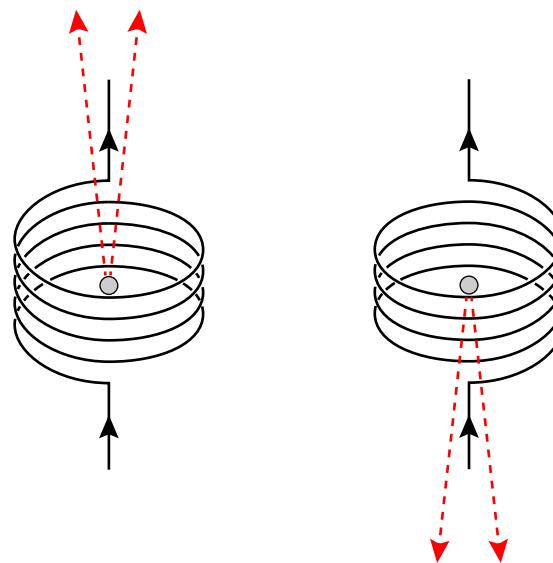
Wu-Experiment (Wu, 1956)

- β -Zerfall des Cobalts



- Ausrichtung des Kernspins im Magnetfeld (Mutterkern $s_z = 5$, Tochterkern $s_z = 4$)
- e^- und $\bar{\nu}_e$ nehmen $s_z = 1/2$ auf (Drehimpulserhaltung)

β -Strahlung



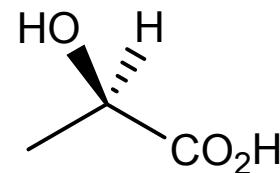
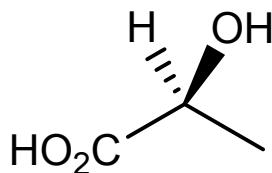
spiegelbildlicher Aufbau

3. Ursprung der Chiralität

CP-Invarianz (charge parity symmetry)

- Physikalische Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten ändern sich nicht, wenn in einem System alle Teilchen durch ihre Antiteilchen ersetzt werden und gleichzeitig alle Raumkoordinaten gespiegelt werden.

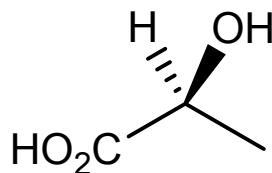
Materie



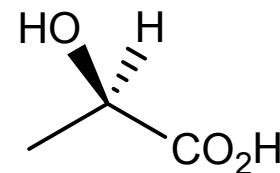
$$[\alpha]_D^{20} = +2.6$$

$$[\alpha]_D^{20} = -2.6$$

Antimaterie



$$[\alpha]_D^{20} = -2.6$$



$$[\alpha]_D^{20} = +2.6$$

3. Ursprung der Chiralität

CP-Verletzung

- tritt auf bei Kaonenzerfall (resultiert aus schwacher Wechselwirkung)
- CPT-Invarianz (charge parity time symmetry)

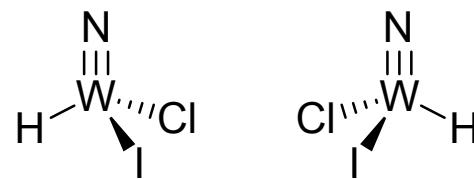
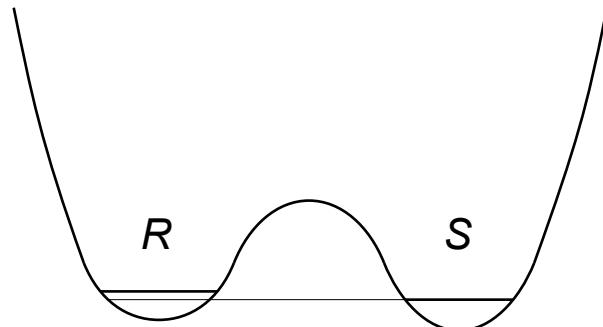
Physikalische Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten ändern sich nicht, wenn in einem System alle Teilchen durch ihre Antiteilchen ersetzt, alle Raumkoordinaten gespiegelt und die Zeitrichtung umgekehrt werden.

- bisher nicht widerlegt

3. Ursprung der Chiralität

Schwache Wechselwirkung: P- und CP-Verletzung

- Einfluß der schwachen Wechselwirkung bewirkt leichte (nicht meßbare) Energieunterschiede bei Enantiomeren



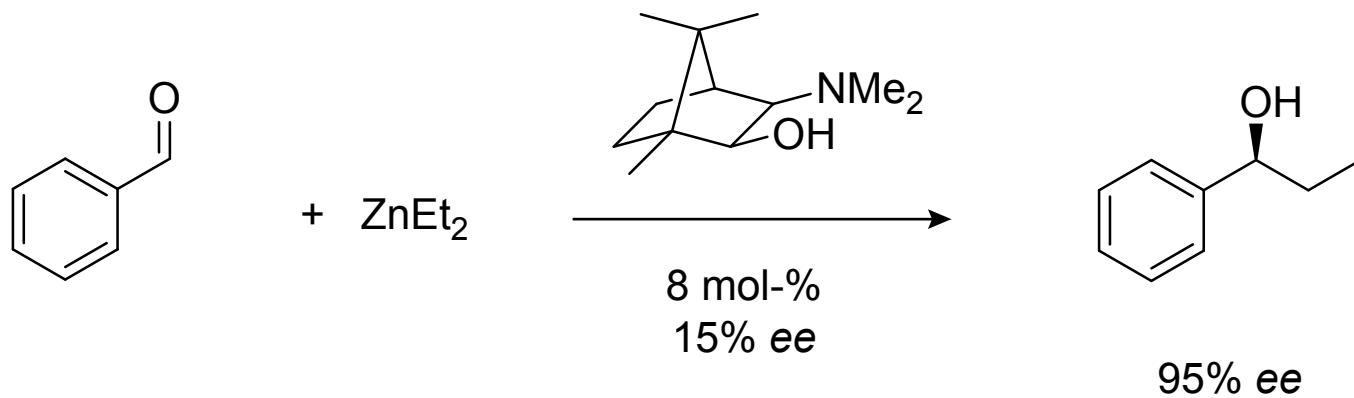
$$\text{berechnet: } \Delta E = 2.8 \cdot 10^{-10} \text{ kJ/mol}$$

$$R : S = 49.9999999999 : 50.0000000001$$

- ergibt minimalen Überschuß des energieärmeren Enantiomers
(Abweichung von der „exakten mechanischen Symmetrie“ nach van't Hoff)

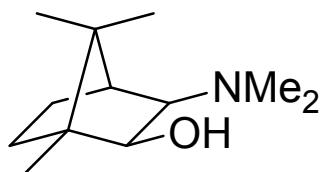
3. Ursprung der Chiralität

Chirale Verstärkung

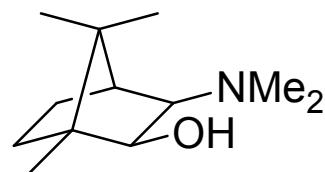


3. Ursprung der Chiralität

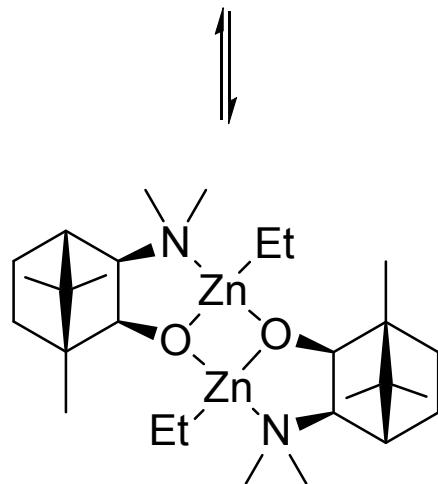
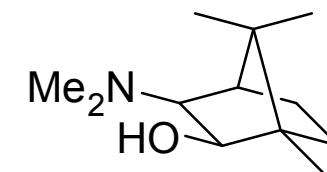
Chirale Verstärkung



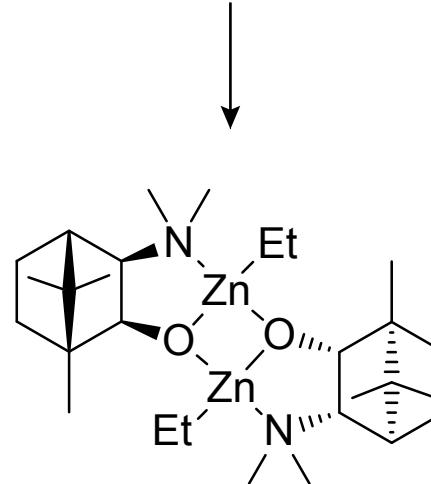
15% ee



85% Racemat



labil, Monomer ist katalytisch aktiv



stabil, unreaktiv